

**PROPUESTA DE MERCADO TRANSACCIONAL EN MICROREDES AISLADAS
CONSIDERANDO ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES Y
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**PROPUESTA DE MERCADO TRANSACCIONAL EN MICROREDES AISLADAS
CONSIDERANDO ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES Y
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: ANA ISABEL PEÑAFIEL PORTILLA
TUTOR: DIEGO FRANCISCO CARRIÓN
GALARZA

Quito –Ecuador
2023

Ana Isabel Peñafiel Portilla

**PROPUESTA DE MERCADO TRANSACCIONAL EN MICRORREDES AISLADAS
CONSIDERANDO ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES Y
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Ana Isabel Peñafiel Portilla (Y'1990 – M'11). Realizó sus estudios de nivel secundario en la Institución Educativa Particular “Julio Cortázar”, se graduó de Bachiller en Instalaciones, Equipos y Máquinas Eléctricas. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo de investigación se basa en una propuesta de mercado transaccional en microrredes aisladas considerando energías renovables no convencionales y almacenamiento de energía. apenafielp1@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Diego Francisco Carrión (Y'1981). Se graduó como Ingeniero Eléctrico en la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en el año 2010 y en 2022 obtuvo su título de doctor en ingeniería de la Universidad Pontificia Bolivariana – Medellín, Colombia. Es profesor e investigador de la Universidad Politécnica Salesiana – Quito, Ecuador. En la actualidad es miembro del grupo de investigación GIREI (Grupo de Investigación en Redes Eléctricas Inteligentes – Smart Grid Research Group). dcarrion@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

DERECHOS RESERVADOS

©2023 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Ana Isabel Peñafiel Portilla con documento de identificación N° 1719954214 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 21 de marzo del año 2023

Atentamente,



Ana Isabel Peñafiel Portilla

1719954214

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Ana Isabel Peñafiel Portilla con documento de identificación No. 1719954214, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico: “Propuesta de Mercado Transaccional en Microrredes Aisladas Considerando Energías Renovables no Convencionales y Almacenamiento de Energía”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de marzo del año 2023

Atentamente,



Ana Isabel Peñafiel Portilla

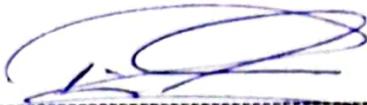
1719954214

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Diego Francisco Carrión Galarza con documento de identificación N° 1713703062, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: *PROPUESTA DE MERCADO TRANSACCIONAL EN MICROREDES AISLADAS CONSIDERANDO ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA*, realizado por Ana Isabel Peñafiel Portilla con documento de identificación N° 1719954214, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 21 de marzo del año 2023

Atentamente,



Ing. Diego Francisco Carrión Galarza, Ph.D.
1713703062

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción	2
2	Microrredes Aisladas	3
2.1	Gestión energética	4
2.2	Tecnologías empleadas	4
2.2.1	Generación eólica.....	4
2.2.2	Generación fotovoltaica	5
2.2.3	Generador Diésel	5
2.2.4	Almacenamiento	5
3	Mercado eléctrico.....	6
3.1	Modelos de mercados eléctricos.....	6
4	Costo nivelado de energía	7
4.1	Costo sistema fotovoltaico.....	7
4.2	Costo sistema eólico	7
4.3	Costo de la batería	8
5	Planteamiento del problema	8
5.1	Caso de estudio	9
6	Análisis de resultados.....	9
7	Conclusiones	14
7.1	Trabajos futuros.....	14
8	Referencias.....	15
8.1	Matriz de Estado del Arte	18
8.2	Resumen de Indicadores	20
9	Anexos	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica del lugar de estudio.....	8
Figura 2. Irradiación del caso de estudio	8
Figura 3. Velocidad del viento del caso de estudio	8
Figura 4. Esquema de la microrred aislada	9
Figura 5 Comportamiento de las generaciones en estudio.....	10
Figura 6 Potencias totales para cada mes.....	11
Figura 7 Comportamiento del uso de baterías	12
Figura 8. Esquema de precios de la energía eléctrica.....	14
Figura 9. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.....	20
Figura 10. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.....	20
Figura 11. Indicador de solución - Estado del arte.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Leísmo día de cada mes	8
Tabla 2. Precio de generación renovable.....	13
Tabla 3 Pseudocódigo.....	13
Tabla 4. Precio horario mes de agosto.....	13
Tabla 5. Precio horario mes de marzo	14
Tabla 6: Matriz de estado del arte.	18
Tabla 7. Precio horario mes de enero	22
Tabla 8. Precio horario mes de febrero	22
Tabla 9. Precio horario mes de abril.....	23
Tabla 10. Precio horario mes de mayo.....	23
Tabla 11. Precio horario mes de junio.....	24
Tabla 12. Precio horario mes de julio	24
Tabla 13. Precio horario mes de septiembre	25
Tabla 14. Precio horario mes de octubre	25
Tabla 15. Precio horario mes de noviembre	26
Tabla 16. Precio horario mes de diciembre	26

PROPUESTA DE MERCADO TRANSACCIONAL EN MICROREDES AISLADAS CONSIDERANDO ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

Resumen

La presente investigación se enfoca en el ámbito de las microrredes aisladas las cuales ayudarán a tener acceso a la energía eléctrica en comunidades remotas y mejorar su estilo de vida, se considerarán recursos renovables no convencionales que buscan obtener un suministro de energía eficiente y confiable a más de reducir el impacto ambiental.

Por medio de la metodología propuesta en la presente investigación se logró gestionar los recursos energéticos de manera óptima para satisfacer la demanda eléctrica, para lo cual se modeló matemáticamente un sistema fotovoltaico que aportará con 60 kW, la generación eólica con 20 kW, un generador a diésel de 5 kW y un sistema de almacenamiento de 10 kW.

Adicionalmente se determinó dos esquemas de precios para el mejor mes y el mes más crítico mediante el cálculo del LCOE de cada generación por la producción, y con las suma de las energías de las generaciones se obtuvo la estimación de precios para una tarifa horaria.

Palabras Clave: Mercado Transaccional, Microredes Aisladas, Energía Renovable, Almacenamiento de Energía, Mercado Eléctrico.

Abstract

The present investigation focuses on the field of isolated microgrids which will help to have access to electricity in remote communities and improve their lifestyle, non-conventional renewable resources that seek to obtain an efficient and reliable energy supply reducing environmental impact.

Through the proposed methodology in the present investigation, it was possible to manage energy resources optimally to satisfy the electrical demand, it was modeled a photovoltaic system mathematically that will contribute with 60 kW, wind generation with 20 kW, a diesel generator at 5 kW and a 10 kW storage system.

Additionally, two price schemes were determined for the best month and the most critical month by calculating the LCOE of each generation for production, and with the sum of the energies of the generations, the price estimate for an hourly rate was obtained

Keywords: Market Traction, Isolated microgrids, Renewable Energy, Energy Storage, Electrical Market.

1 Introducción

La cobertura de energía eléctrica a nivel mundial ha ido incrementando dependiendo de las condiciones demográficas y geográficas que presentan cada uno de los diferentes países en donde se puede ver la existencia de la extensión de áreas rurales y por ende la dispersión de la población hacia sectores alejados de un sistema de distribución [1], generando un problema de abastecimiento de energía eléctrica adecuado, además que el suministro de energía se lo realiza en gran manera por medio de combustibles fósiles que producen problemas ambientales [2], por otra parte existen países con gran dependencia de las fuentes híbridas que se han visto afectadas por cambios de clima a causa de fenómenos naturales lo cual ha dejado en evidencia la vulnerabilidad que presentan estos países por depender de una única fuente de energía lo cual ha ocasionado que se busque otras alternativas como lo son las energías renovables, con las cuales se pretende disminuir el impacto ambiental, y tener como resultado un desarrollo de la generación de energías renovables [3], [4].

Las microrredes son cada vez más estudiadas ya que representan una mejor confiabilidad y fiabilidad del suministro de energía, la incorporación que se realiza de fuentes de energía renovables y el potencial que representan estas para obtener una reducción de costos para el consumidor final [5], además que se las puede considerar como una red de distribución a pequeña escala la cual básicamente está compuesta de los mismos elementos de una red convencional, los cuales deben operar adecuadamente de acuerdo con la filosofía de funcionamiento de una microrred [6]. A las microrredes aisladas se las puede considerar como una solución favorable, ya que esta debe de tener más de una fuente de energía [7], unidades de generación distribuida y sistemas de almacenamiento de energía las

cuales tienen como función garantizar confiabilidad y seguridad del suministro de energía eléctrica [1].

Las fuentes energéticas se están convirtiendo en un centro de investigación destacado a nivel mundial, especialmente consideradas para islas aisladas y lugares que presentan terrenos geográficos con difícil acceso [1]. Una microrred aislada puede facilitar la electrificación de dichas islas remotas y áreas rurales en donde se puede notar el despliegue de una red eléctrica es costosa para la interconexión [8]. Para realizar un sistema eficiente de suministro de energía eléctrica es esencial realizar un buen marco de diseño que se considere el tamaño de la capacidad que este tendrá junto con una planificación operativa para garantizar una buena eficiencia energética [9], además de poseer un buen almacenamiento de energía que ayudará en la planificación, operación y regulación de frecuencia del sistema [10], las cuales deben ser ubicadas en un lugar óptimo en donde se podrá alimentar la demanda de energía en los días donde exista días nublados y sin viento [11]. El controlador central posee de diferentes características que le permitirá tener una coordinación adecuada en cuanto a la distribución de los recursos energéticos según su capacidad de generación de energía [2].

A medida que se va integrando nuevas centrales a base de energía solar fotovoltaica en el mercado eléctrico se dificulta cada vez más con la naturaleza variable en el tiempo de la energía la cual es proveniente del sol, la utilización de dispositivos de almacenamiento de energía se ha visto como una solución tecnológica que se ve como una posibilidad nueva para la integración en el mercado eléctrico de las plantas fotovoltaicas [12].

Del mercado eléctrico mayorista se puede decir que es aquel en el cual se realizan las transacciones comerciales a corto, mediano y largo plazo conforme a

las respectivas normas establecidas en los reglamentos [13], por otra parte el mercado minorista tiene como propósito vender a los pequeños consumidores cantidades reducidas o productos más básicos, aunque se ha restado importancia a este mercado en lo que respecta a la distribución de mercados locales como lo es en el comercio de peer to peer [14].

La operación del sistema de energía se encuentra bajo las condiciones de un mercado liberalizado que se enfrenta a la problemática de la confiabilidad, seguridad y los precios de la oferta competitivos que buscan incrementar la actividad económica de las empresas eléctricas [15], por ello en la mayor parte de los países se están ejecutando procesos de liberalización y competencia para poder reducir el precio final del suministro eléctrico mediante el financiamiento de nuevas inversiones en la estructura eléctrica y de esta manera llegar a mejorar la eficiencia económica. Los mercados eléctricos más estables cuentan con mercados diarios como con mercados a largo plazo lo que conlleva a que se pueda diversificar el riesgo del precio en lo que respecta a la venta y compra de energía [16].

En [17] se presenta un algoritmo de gestión de energía estocástica en el cual minimiza el costo total y mediante componentes como unidades fotovoltaicas, celdas de combustible, microturbinas, baterías planifican su tamaño óptimo de los recursos renovables antes mencionados, de igual manera en [8] para minimizar tanto el costo de la electricidad para los consumidores como el costo total para el desarrollo del sistema de la microrred, propone un programa de respuesta a la demanda el cual con un modelo económico de precios dinámicos busca mejorar el sistema, por el contrario en [18] para maximizar las ganancias de los proveedores de energía proponen un modelo que esta formulado como un juego de oligopolio de Cournot el cual es

aplicado al mercado eléctrico que se centra en la competencia entre jugadores y no en la producción de tecnologías renovables, almacenamiento y proveedores tradicionales.

En el presente trabajo se tiene como objetivo realizar una propuesta transaccional para una microrred aislada, mediante el estudio de diferentes escenarios en donde se pueda observar el comportamiento que van tomando los costos de la energía eléctrica para su comercialización, además que se realizará el estudio de los mercados mayoristas y minoristas para conocer sus ventajas y los instrumentos financieros que estos utilizan. Para lo cual se utilizará una metodología heurística que a diferencia de otros métodos se podrá llegar a una solución más fuerte que utilizando modelos que conllevan mayor complejidad matemática.

La presente investigación estará organizada de la siguiente manera: en la sección II se presentará una breve caracterización de las microrredes aisladas, gestión energética y las tecnologías empleadas en cuanto a las energías renovables, en la sección III se mencionará al mercado eléctrico y se caracterizará los diferentes modelos. En la sección IV se describirá el costo nivelado de energía de cada sistema energético, la sección V contendrá el planteamiento del problema, caso de estudio, para la sección VI se analizará los resultados obtenidos mediante el estudio de diferentes escenarios en donde se pueda observar el comportamiento que tiene el precio de la energía eléctrica. Para finalizar en la sección VII se establecerá las conclusiones y trabajos futuros.

2 Microrredes Aisladas

Una microrred aislada se la puede considerar como un sistema de energía autónomo el cual puede operar de manera independiente a la red principal y para

tener una mayor confiabilidad y seguridad del suministro debe de tener más de un sistema energético, este trabajo se centrará en la utilización de las fuentes de energía renovable no convencionales, este tipo de sistemas no pueden exportar la energía renovable a otra región, como se lo realiza con los sistemas interconectados, por lo que la utilización de fuentes renovables es crítica para la gestión del sistema energético [7], [8].

Este tipo de sistema proporcionará un suministro de energía más confiable y optimización de la generación interna, de manera que este sistema sea capaz de funcionar para un sector aislado donde la construcción resulte económicamente inviables. Las microrredes pueden suministrar en corriente alterna y corriente continua al mismo tiempo o por separado además que pueden estar conectadas a la red de distribución o a su vez operar de manera aislada [1].

2.1 Gestión energética

La integración de fuentes de energía renovable (FER) ha mejorado notablemente el aumento en la demanda de operación eficiente de la red eléctrica y en el desarrollo económico mundial. El valor de la respuesta a la demanda (DR) ha resaltado en el sistema eléctrico por la participación de los usuarios finales mediante nuevas entidades de mercado que son aquellos que actúan como intermediarios para asumir la representación de los usuarios domésticos [19].

En la Unión Europea se cuenta con un 57% de fuentes de generación fotovoltaica y eólica que han representado la mayor producción de energía primaria producida, por otro lado Estados Unidos tiene 19% de la energía producida de fuentes renovables obteniendo 4,18 billones de kilovatios hora de electricidad, en cuanto a China que es uno de los países que más consume energía eléctrica aumento en 6% la generación de

energía renovable, Brasil cuenta con 9,9% de la capacidad instalada de fuentes renovables fotovoltaicas y eólicas.

Con el aumento que se está presentando a nivel mundial en cuanto al uso de fuentes de energía renovable se puede notar que los sistemas de energía eléctrica han aumentado las incertidumbres debido a la generación de energía renovable intermitente [20].

2.2 Tecnologías empleadas

A continuación se presenta una breve explicación de las tecnologías empleadas en el estudio.

2.2.1 Generación eólica

La energía eólica es aquella que proviene del viento es decir del movimiento de las masas del aire, esta energía es limpia y reproducible lo que la hace ser una generación reducida en cuanto a sus coste, la dificultad que se puede apreciar en esta energía seria que los productores tienen que recurrir a modelos que permitan predecir la producción de energía del siguiente día [18],[21].

Un sistema eólico utiliza la fuerza aerodinámica de las palas del rotor para convertir la energía cinética del viento en energía eléctrica, el rotor del aerogenerador se encuentra acoplado al eje y a una caja de cambios lo que produce que aceleran la rotación. La potencia producida por el aerogenerador se puede calcular mediante (1) [22].

$$P_{wind} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \eta_g \eta_b \quad (1)$$

Donde:

- C_p → Coeficiente de rendimiento
- ρ → Densidad del aire (kg/m^3)
- A → Área del barrido del rotor
- v → Velocidad del viento (m/s)
- η_g → Eficiencia del generador (%)

$\eta_b \rightarrow$ Eficiencia del engranaje/cojinete (%)

2.2.2 Generación fotovoltaica

La energía fotovoltaica es aquella que se obtiene a partir de la radiación solar mediante celdas fotovoltaicas que se encargan de transformar la energía solar en energía eléctrica por lo que este sistema es rentable y limpio, su costo de operación y mantenimiento son fijados anualmente. La generación solar tiene limitaciones en cuanto a su predictibilidad y capacidad de regulación de la producción[18], [21].

Un sistema fotovoltaico está compuesto por paneles fotovoltaicos los cuales están conectados a un convertidor y un hardware con lo cual se podrá generar electricidad y darle la utilidad que se requiera para el uso de diferentes aplicaciones. La potencia de salida de la energía depende de la radiación solar, eficiencia y tamaño de los paneles que se utilizan en el sistema construido. La potencia generada por el sistema fotovoltaico se la puede calcular mediante (2) [22].

$$P_{pv} = \eta_{pv} \times A_{pv} \times I_{pv} \quad (2)$$

Donde:

$P_{pv} \rightarrow$ Potencia de Salida del PV (kW)

$\eta_{pv} \rightarrow$ Eficiencia del panel fotovoltaico

$A_{pv} \rightarrow$ Area del panel fotovoltaico (m²)

$I_{pv} \rightarrow$ Irradiación solar (kWh/m²)

2.2.3 Generador Diésel

El generador a diésel es utilizado como una fuente de energía secundaria durante los picos de demanda cuando existe un agotamiento de las baterías.

El consumo de combustible del generador se lo expresa mediante (3) [23].

$$q(t) = a \times P(t) + b \times P_r \quad (3)$$

Donde:

$q(t) \rightarrow$ Consumo de combustible (L/h)

a y $b \rightarrow$ Parámetros constantes (L/kW)

$P(t) \rightarrow$ Potencia generada (kW)

$P_r \rightarrow$ Potencia nominal (kW)

2.2.4 Almacenamiento

En los últimos años se ha podido ver un gran aumento en instalaciones de sistemas de almacenamiento en los mercados eléctricos a nivel mundial, en los años 2017 y 2019 se pudo observar un incremento en las nuevas instalaciones de casi el doble, solo en el 2019 se pudo ver un aumento del alrededor de dos tercios en los países de Corea del Sur, China, EE.UU y Alemania [24].

Al integrar sistemas de almacenamiento de energía permitirá que las energías renovables puedan realizar una planificación económica para de esta manera facilitar la venta de energía cuando existan periodos en donde el precio de la energía exceda en su valor además de corregir las desviaciones frente a dicha planificación realizada. En cuanto al funcionamiento en una microrred se podría aprovechar en la compra de energía en los periodos en los cuales el precio de la energía es más accesible, almacenarla y de esa manera poder abastecer y autoabastecer las cargas en los periodos en los cuales el precio de la energía sea alto [25].

Para un sistema de baterías la capacidad óptima en la que opera se logra cuando se encuentra dentro de las capacidades máximas y mínimas que vienen establecidas por el fabricante. Para el proceso de carga de la batería se lo calcula mediante (4), en (5) se presenta las condiciones para que el banco de batería pueda comenzar la carga cuando la energía generada sobrepase a la que requiere la carga, en (6) se presenta la condición cuando comienza la descarga cuando la energía no abastece a la carga [26].

$$SOC(t) = SOC(t-1) \times \frac{E_w + E_s(t) - E_L(t)}{V_b \times C_b} \quad (4)$$

$$E_w + E_s(t) > E_L(t) \quad (5)$$

$$E_w + E_s(t) < E_L(t) \quad (6)$$

Donde:

$E_w \rightarrow$ Energía de las turbinas eolicas (Wh)

$E_s \rightarrow$ Energía solar (Wh)

$E_L \rightarrow$ Energía de la carga (Wh)

$V_b \rightarrow$ Voltaje de las baterías (V)

$C_b \rightarrow$ Capacidad del banco de baterías (Ah)

3 Mercado eléctrico

Un mercado eléctrico se lo considera como el ámbito en el cual se realiza transacciones comerciales que pueden ser a corto, mediano y largo plazo para la compra y venta de energía. El mercado de energía diario se presenta en los compradores y vendedores los cuales deben de realizar la propuesta del precio y la cantidad de energía antes del cierre de la sesión, una vez realizada la casación de energía los compradores y vendedores son responsables de las ofertas de energías que se realicen, este mercado cierra a las 8 horas del día anterior para lo cual se debe de realizar la planificación de generación para el siguiente día de 0 a 24 horas. Las entidades encargadas para el funcionamiento de los sistemas eléctricos son el Operador del Mercado y el Operador del sistema el cual es el encargado de asegurar en tiempo real la calidad y continuidad del suministro de la energía eléctrica además tiene a su disposición reservas de energía cuando se presente

algún imprevisto en las variaciones de carga o en la capacidad de generación [25].

3.1 Modelos de mercados eléctricos

Un mercado minorista se lo conoce como una entidad que tiene la capacidad de vender en cantidades pequeñas a los consumidores que no pueden participar directamente en un mercado mayorista. La competencia en este mercado se realiza conforme se seleccione a quien se va a comprar la energía ya sea a comercializadores, generadores o incluso a minoristas, los comercializadores prestan el servicio de facturación además que a los usuarios finales los atienden con precios regulados y aquellos usuarios que no son regulados se les vende la energía mediante un contrato en donde las partes establecen el precio [27],[14].

En el mercado mayorista participan varios agentes como comercializadores, distribuidores, transmisores, generadores y usuarios no regulados. Son considerados grandes consumidores aquellos que cuya demanda sea de 100Kw o 55MWh/mes. En este tipo de mercado los generadores y comercializadores mediante contratos bilaterales pueden comprar y vender energía eléctrica acordando precios fijos, además que existe una competencia para ofertar su producción en el mercado a corto plazo el cual es administrado por el operador del mercado eléctrico [27],[28].

El mercado Pool se lo define como un mercado centralizado en donde todos los agentes que forman parte del mercado eléctrico reconocen el funcionamiento del organismo central que administra el mercado y bajo mecanismos adecuados fijan el precio a corto plazo del mercado mayorista de electricidad el cual es el precio de equilibrio entre la oferta y la demanda [28].

El mercado Spot o también conocido como mercado al contado se lo considera como un mecanismo en el cual se puede incentivar la elaboración de

nuevas centrales de generación y de esa manera aumentar la confiabilidad que debe poseer el suministro en un sistema eléctrico. El precio en un mercado spot de tipo marginalista se lo fija por medio de la intersección de las curvas de la oferta y la demanda, los generadores se ven obligados a ofertar la producción al coste incremental de sus centrales por la competencia que existe, por otro lado los comercializadores en nombre de los consumidores dan ofertas similares a la valoración que tiene la energía [29],[30].

Los contratos bilaterales en los últimos años se ha podido ver el crecimiento en la demanda de los recursos renovables lo que ha impulsado a la realización de este tipo de contratos que consisten en llegar a un acuerdo directo entre el comprador y el generador de energía, como es el precio, la energía mínima a consumir o suministrar, la duración que tendrá dicho contrato, además para asegurar la estabilidad del precio a largo plazo y evitar la incertidumbre en cuanto al precio de la energía [16].

El mercado intradiario posee menor energía que la de un mercado diario por lo que se encarga de ajustar con gran precisión la energía que se negocia, además que puede ser de gran utilidad para los agentes ya que permite ajustar mediante la presentación de ofertas de compra y venta de energía [16].

El mercado de reservas es cada vez más necesario ya que se ha evidenciado en el sistema eléctrico márgenes reducidos de reserva debido al crecimiento de las energías renovables. El mercado de reserva se lo considera como aquel que permite generar una reserva adicional con lo cual permitirá garantizar la cobertura de la demanda y la seguridad de la energía eléctrica, este mercado se lo considera más importante en periodos en donde se puede ver una mayor demanda [16].

4 Costo nivelado de energía

El LCOE se lo conoce como los costos totales a lo largo de la vida útil del sistema de generación y se calcula mediante (7) [31].

$$LCOE = \frac{\text{Costo total neto}}{\sum_{t=1}^n P_{load}(h)(kWh)} \times CRF \quad (7)$$

Donde:

P_{load} = Consumo de energía por hora

$$CRF = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (8)$$

Donde:

i = Tasa de interés

n = Periodo de vida del sistema

4.1 Costo sistema fotovoltaico

El costo del sistema fotovoltaico se lo representa mediante (9) [32]

$$C_{pv} = \lambda_{pv} \times A_{pv} \quad (9)$$

Donde:

λ_{pv} = Costo inicial del PV

Para el costo de operación y mantenimiento del panel fotovoltaico OM_{pv} se lo obtiene mediante (10)

$$OM_{pv} = \theta_{pv} \times A_{pv} \times \sum_{i=1}^N \left(\frac{1+\mu}{1+i_r} \right)^i \quad (10)$$

Donde:

θ_{pv} = Costo de operación y mantenimiento PV por año

μ = Tasa de escalamiento

i_r = Tasa de interés

4.2 Costo sistema eólico

El costo del sistema fotovoltaico se lo representa mediante (11)

$$C_{wind} = \lambda_{wind} \times A_{wind} \quad (11)$$

Donde:

λ_{wind} = Costo inicial del sistema eólico

Para el costo de operación y mantenimiento del panel fotovoltaico OM_{wind} se lo obtiene mediante (12)

$$OM_{wind} = \theta_{wind} \times A_{wind} \times \sum_{i=1}^N \left(\frac{1+\mu}{1+i_r} \right)^i \quad (12)$$

Donde:

θ_{wind} = Costo anual de operación y mantenimiento sistema eólico

4.3 Costo de la batería

$$OM_{bat} = \theta_{bat} \times C_b \times \sum_{i=1}^{Tn} \left(\frac{1+\mu}{1+\delta} \right)^{(i-1)L_{bat}} \quad (13)$$

Donde:

θ_{bat} = Costo anual de operación y mantenimiento de la batería

5 Planteamiento del problema

El presente trabajo se plantea una propuesta de precios de energía que será suministrada mediante los recursos energéticos como lo son el sistema fotovoltaico, eólico, diésel y almacenamiento.

Para lo cual se ha tomado en cuenta el comportamiento de dichas energías para el peor día de cada mes dentro de las 24 horas como se describe en Tabla 1

Tabla 1. Lésimo día de cada mes [34]

Mes	Fecha
Enero	17
Febrero	16
Marzo	16
Abril	15
Mayo	15
Junio	11
Julio	17
Agosto	16
Septiembre	15
Octubre	15
Noviembre	14
Diciembre	10

Los datos de irradiación como la velocidad del viento fueron tomados de la página de la NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (NASA POWER), de la localidad de Salinas de Imbabura como se puede apreciar en figura 1.



Figura 1. Ubicación geográfica del lugar de estudio

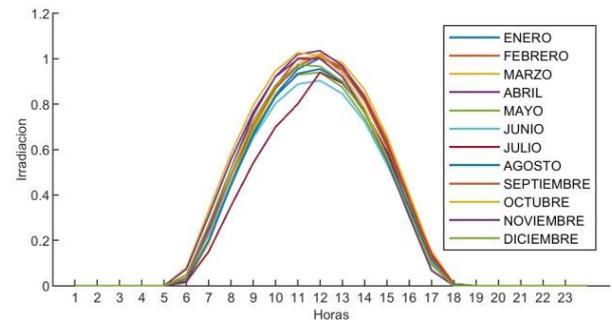


Figura 2. Irradiación del caso de estudio

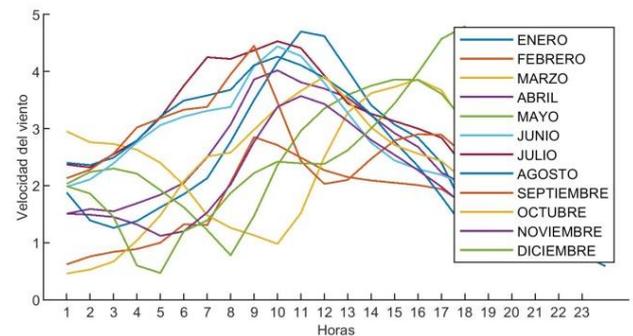


Figura 3. Velocidad del viento del caso de estudio

En figura 2 y 3 se puede ver el comportamiento de la irradiación y velocidad del viento respectivamente durante el año para cada mes.

En el presente trabajo se desea proporcionar de energía eléctrica a 150 viviendas cuyo consumo de energía es de 162 kWh/mes para cada una de las viviendas.

Las tarifas que se presentarán en este estudio comprenden los valores para cada hora durante todo el año de tal manera que el usuario pueda apreciar de mejor manera el precio por cada kWh.

5.1 Caso de estudio

En el caso de estudio se considerará el costo de la energía eléctrica para la planta aislada de 95 kW de potencia la cual estará conformada por la fuente fotovoltaica que aportará con 60 kW, la generación eólica aportará con 20 kW, baterías 10 kW y diésel 5 kW.

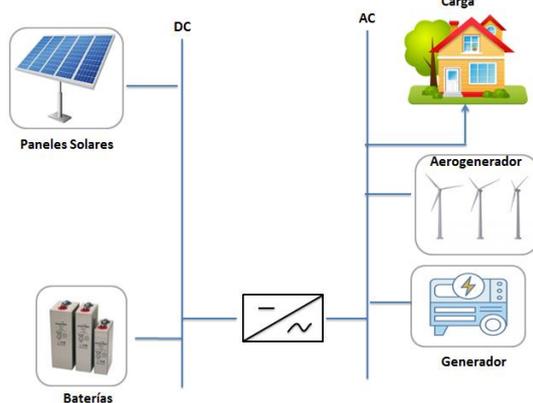


Figura 4. Esquema de la microrred aislada

En Figura 4 se presenta el esquema de la microrred que se ha dimensionado para poder llevar a cabo el estudio del costeo. Como caso de estudio se realizará el análisis para una tarifa horaria para cada mes del año con cada una de las fuentes de energía de estudio.

La curva de demanda que se utilizara para el análisis corresponde a la de un día laborable la cual será diferente para cada uno de los meses.

6 Análisis de resultados

Para la ejecución de los modelos matemáticos de las diferentes fuentes de

generación se lo realizó sobre el software MATLAB R2018a, y para el despacho económico realizado se utilizó el software GAMS win64 27.3.0. Lo antes mencionado se lleva a cabo en un computador con procesador Inter(R) Core(TM) i3 M 370, 4GB de RAM y Windows 7.

De acuerdo al dimensionamiento obtenido de la microrred aislada se puede observar el comportamiento que tiene cada una de las fuentes de energía para cada mes de manera horaria como se muestra en Figura 5.

En Figura 6 se presenta las curvas de las potencias que generan cada uno de los recursos energéticos para entregar a la microrred aislada y que esta a su vez pueda cubrir la demanda requerida. Para el mes de marzo se ha implementado un generador de diésel que ayudará a los sistemas eólico, fotovoltaico y baterías abastecer la demanda en un horario de 16:00 a 22:00 horas que existe un déficit de energía.

Para la Figura 7 se muestra el nivel de carga (parte positiva de la curva) y descarga (parte negativa de la curva) del banco de baterías para cada mes que operará en un horario de 00:00 a 07:00 horas por la mañana y en la noche de 17:00 a 23:00 horas cubriendo el consumo energético cuando los sistemas fotovoltaico y eólico no lleguen a cubrir la demanda en dichos horarios.

En cuanto a la energía sobrante de generación se almacenará en el horario de 8:00 a 16:00 para poder ser utilizada en la noche en donde no existe un aporte del sistema solar y se utilizó la integración de un sistema de respaldo para cubrir el déficit de energía.

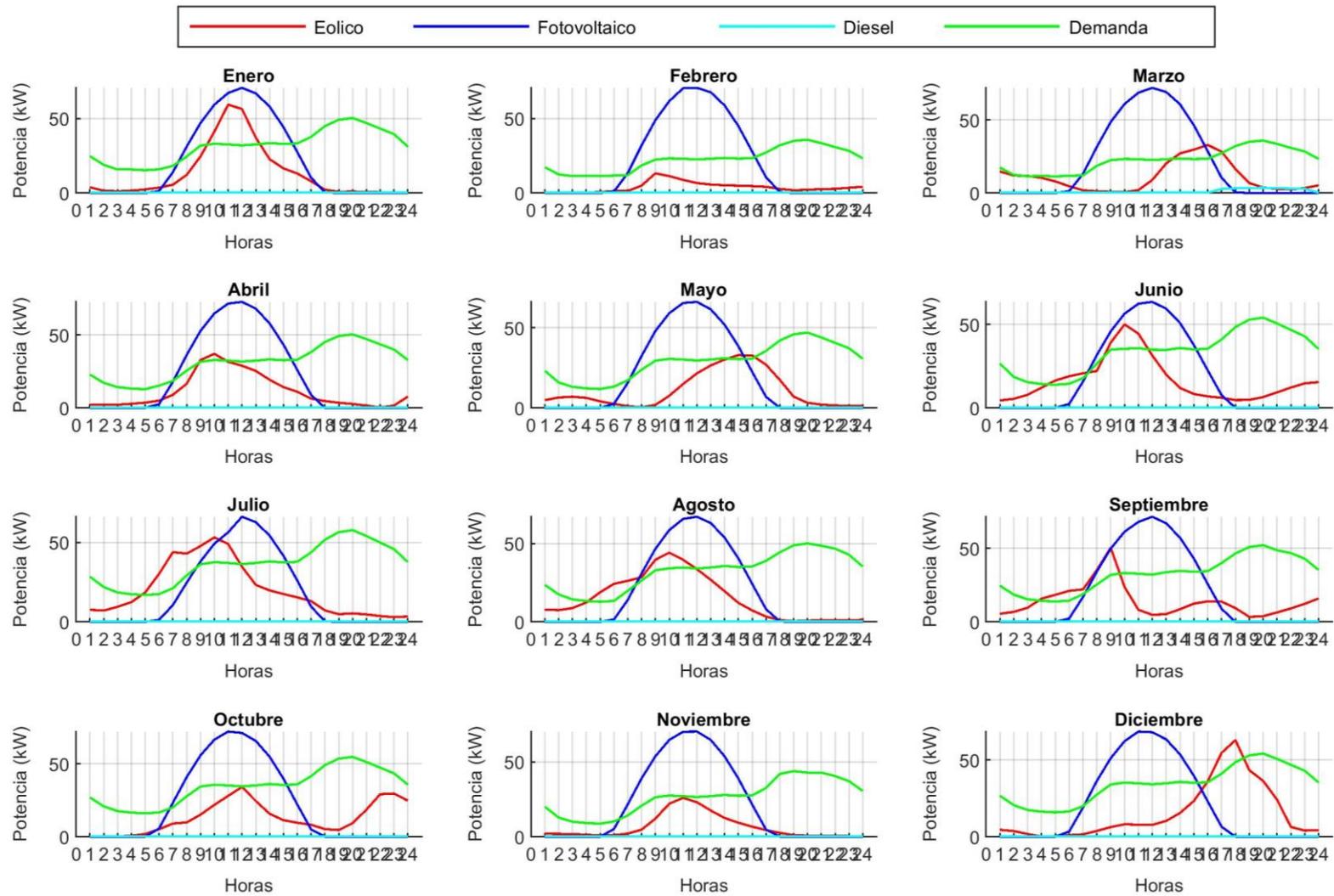


Figura 5 Comportamiento de las generaciones en estudio

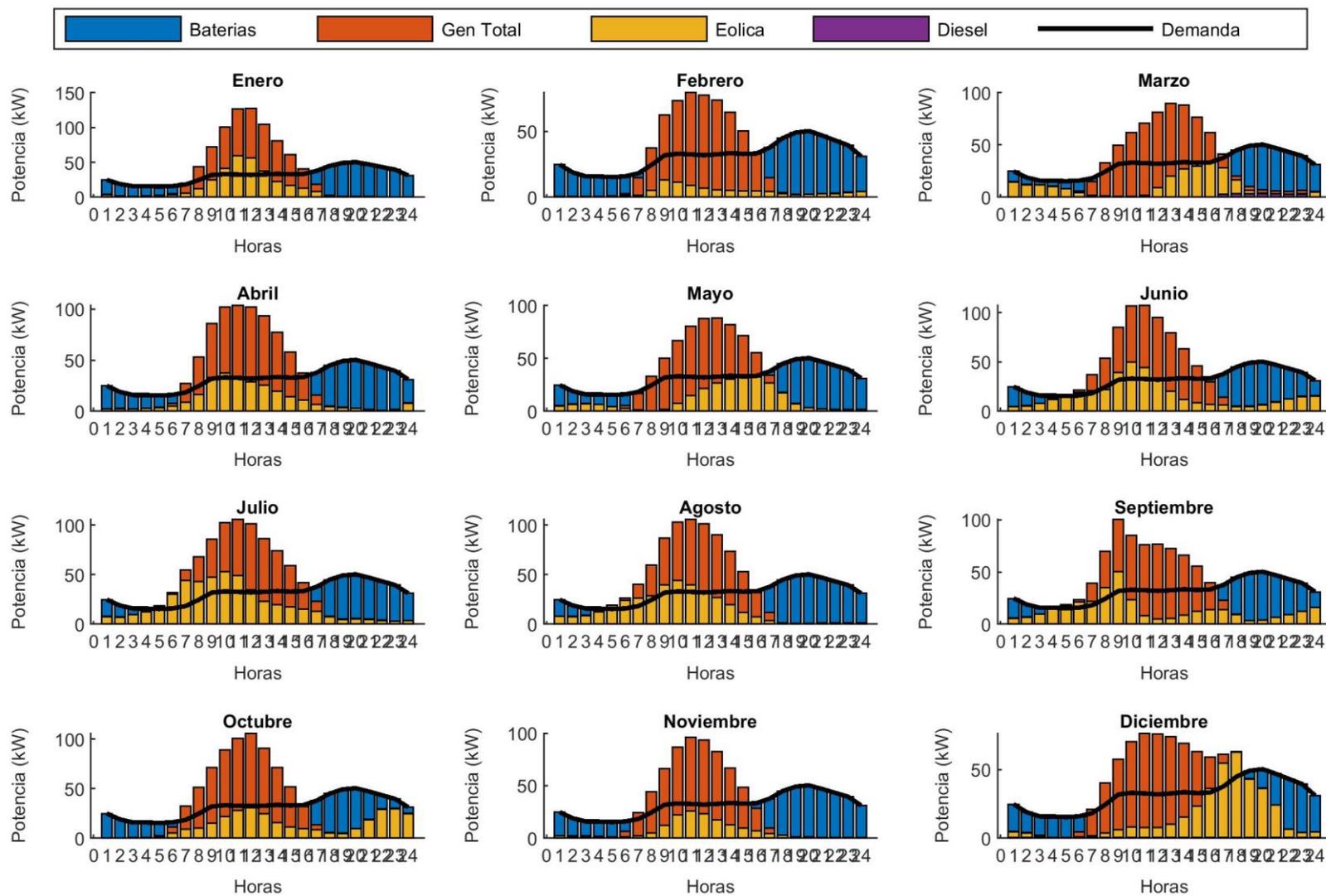
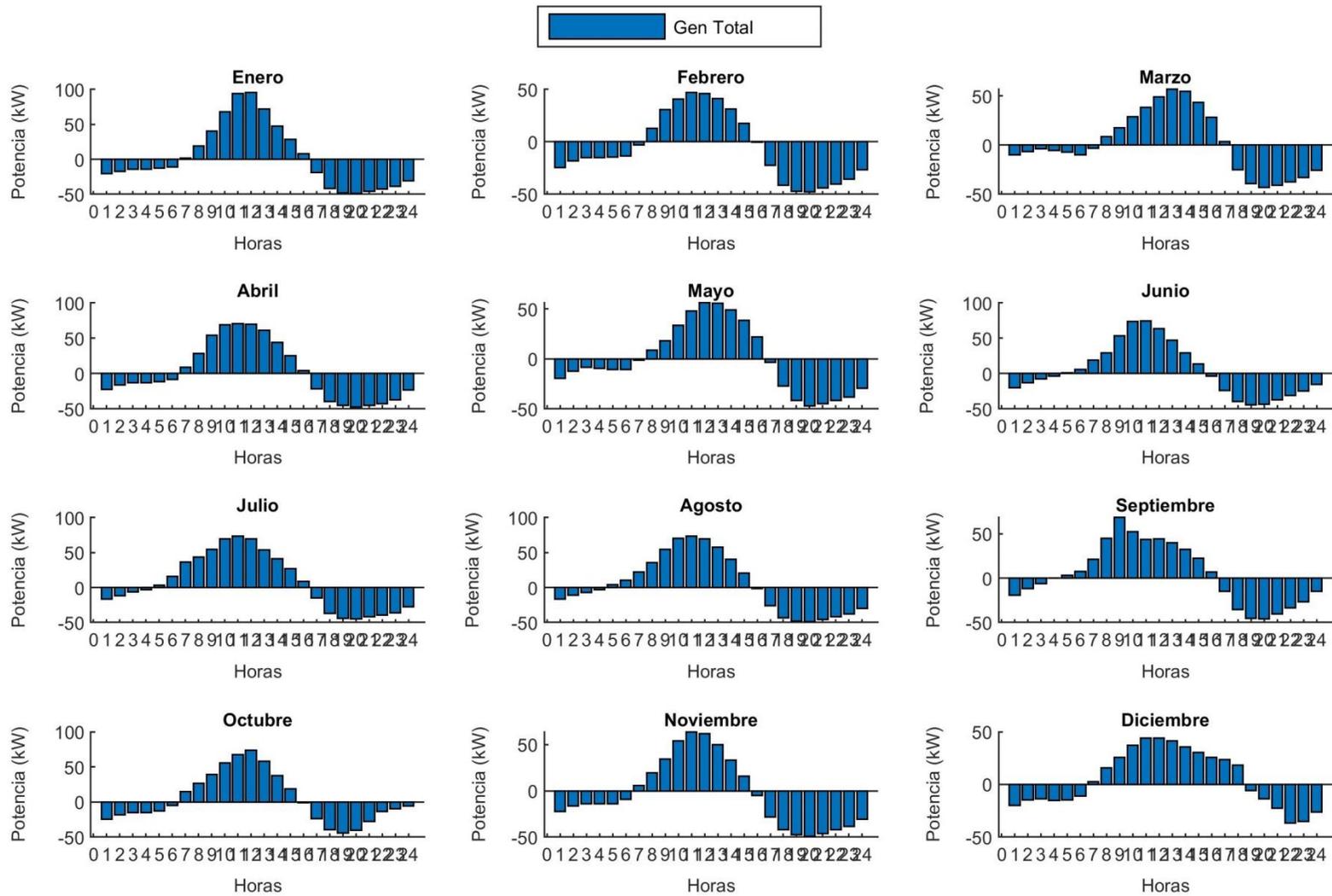


Figura 6 Potencias totales para cada mes



Figura

7

Comportamiento

del

uso

de

baterías

Mediante el cálculo del LCOE se ha obtenido el precio de cada una de las centrales, que será detallada en Tabla 2. En donde se puede ver al sistema fotovoltaico como el más económico con USD 0,0742 por cada kWh y el más caro al sistema a diésel con USD 0,2671.

Tabla 2. Precio de generación renovable

Centrales	Precio (USD/kWh)
Eólica	0,0834
Fotovoltaica	0,0742
Diésel	0,2671
Baterías	0,1365

Una vez obtenidos los resultados de los precios de cada uno de los sistemas se procedió a realizar un despacho económico para obtener los valores de los precios para cada hora de cada mes. En tabla 3 se presenta el pseudocódigo del despacho económico que se realizó.

Tabla 3 Pseudocódigo

Algoritmo para el despacho económico	
Paso 1:	Declaración de variables $P1, P2, P3, P4, Cg1, Cg2, Cg3, Cg4, Pd$
Paso 2:	Minimización de costos F.O.:
	$C_t(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^n (i(P_{Gi}))$
	Sujeto a:
	$\sum_{i=1}^n P_{Gi} = P_c$
	$P_{Gi\ min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi\ max}$
Paso 3:	Asignación de restricciones $P1 = P1Min, P2 = P2Min, P3 = P3Min$ $P4 = P4Min, P1\ kW = P1Max,$ $P2\ kW = P2Max, P3\ kW = P3Max$ $P4\ kW = P4Max$

A continuación se presenta los esquemas de precios del mes de agosto que es uno de los meses con una mejor producción energética y el mes de marzo el cual es el que no obtuvo la suficiente

producción energética para satisfacer la demanda y por lo cual se tuvo que integrar un generador a diésel para poder cubrir la demanda en horas de la noche.

Estos esquemas se los obtiene tomando como referencia el precio obtenido de cada central por la producción de energía que se tiene en cada hora, y sumado para cada energía.

Tabla 4. Precio horario mes de agosto

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,495823873
1	2,68307079
2	2,180658061
3	1,847577826
4	3,094890198
5	4,527000624
6	6,69550212
7	9,883172185
8	14,7473794
9	18,08016005
10	18,51469643
11	17,5784415
12	15,14847384
13	11,4742076
14	7,128226957
15	3,623713958
16	5,325952366
17	6,682703256
18	7,33983584
19	7,484753222
20	7,271828532
21	7,010979014
22	6,48702237
23	5,435882761

En Tabla 3 se puede apreciar los precios en kWh para cada hora del mes de agosto, en el horario de 00:00 a 08:00 horas considerado como hora valle en donde la demanda es baja se tiene un precio de USD 0,5461675 y en el horario de 08:00 a 10:00 horas y 14:00 a 18:00 horas y 22:00 a 00:00 horas considerado hora llana donde la demanda es media tiene un precio de USD 0,094245805 y finalmente en el horario de 10:00 a 14:00

horas y 18:00 a 22:00 considerado hora punta en donde existe una mayor demanda se tiene un precio de USD 0,10543847 que se puede considerar precios accesibles para el usuario.

Tabla 5. Precio horario mes de marzo

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,497454314
1	2,816178579
2	2,409693197
3	2,334359532
4	2,401089356
5	2,574296732
6	2,447714325
7	3,884308382
8	6,531175687
9	8,89216901
10	10,90571698
11	13,2156663
12	14,99207105
13	14,63522462
14	12,25558119
15	9,15776111
16	6,108154913
17	8,845752562
18	10,26373585
19	10,66447253
20	10,02506252
21	9,268869349
22	8,447113354
23	5,159924286

Para el mes de marzo se obtiene los precios que se observa en tabla 4 en donde se aprecia que los precios de marzo son mayores a los precios de agosto, esto se debe a la integración del generador a diésel, por ejemplo a las 19:00 horas donde existe la mayor demanda con un consumo de 53,35 kWh tiene un precio de USD/kWh 0,74847532 para el mes de agosto, mientras tanto para el mes de marzo se tiene un precio de USD/kWh 0,10664473.

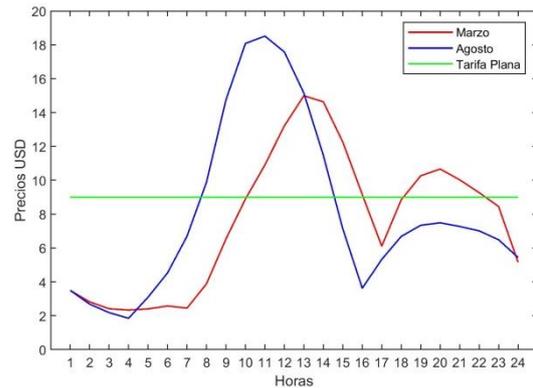


Figura 8. Esquema de precios de la energía eléctrica

En figura 8 se aprecia la comparativa entre la tarifa plana (verde) residencial que se tiene y los esquemas de precios de energía eléctrica del mes de marzo (rojo) y del mes de agosto (azul) en donde se puede ver que en el horario de 17:00 a 22:00 horas los precios del mes de marzo son más altos en comparación a los precios de agosto ya que en dicho horario comienza a trabajar el generador a diésel, mientras que para la tarifa plana se conserva el mismo valor durante todo el día.

7 Conclusiones

Mediante el análisis de precios que se realizó en el presente trabajo se puede establecer que la implementación de una microrred aislada sería viable ya que se utilizaría en su gran mayoría fuentes renovables, lo cual representa económicamente más rentable y accesible para el consumidor final a más que no solo ayudaría al medio ambiente sino también mejoraría el estilo de vida de las personas que no tienen acceso a la energía eléctrica.

De acuerdo a los resultados obtenidos, los recursos energéticos utilizados no solo llegan abastecer la demanda requerida sino que se tiene un sobrante de aproximadamente 20 kW que se podría utilizar para su comercialización con los pequeños comerciantes en microrredes aisladas.

Al comparar los precios de energía eléctrica obtenidos mediante los recursos renovables (eólico y fotovoltaico) se determinó que el precio es aproximadamente el 65% menor en comparación al precio obtenido al integrar el generador a diésel en la hora punta que tiene un precio de 0,11467351 USD/kWh y sin utilización del generador se tiene un precio de 0,10543847 USD/kWh.

Tradicionalmente el esquema de precios en mercados eléctricos regularizados suelen ser tarifas planas en el cual no hay un costeo diferente de precios, el esquema propuesto plantea una variabilidad de precios en función del día y la demanda eléctrica con lo cual se obligaría al usuario final a consumir el recurso energético en la hora de menor costo.

7.1 Trabajos futuros

Partiendo del estudio realizado se puede dar paso al estudio de una nueva investigación para el diseño e implementación de la microred en zonas costeras.

Este trabajo se desarrolló considerando características de un sistema residencial, por lo cual se puede estudiar para un sistema industrial.

8 Referencias

- [1] J. M. Clairand, H. Chinchero-Villacis, X. Serrano-Guerrero, and A. Gonzalez-Zumba, "Microgrids as Electrification Alternatives for the Amazon Region in Ecuador," *2019 IEEE PES Innov. Smart Grid Technol. Asia, ISGT 2019*, pp. 4286–4291, 2019, doi: 10.1109/ISGT-Asia.2019.8881594.
- [2] A. Kaur, J. Kaushal, and P. Basak, "A review on microgrid central controller," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 55, pp. 338–345, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2015.10.141.
- [3] W. Guacaneme, A. F. Rodríguez, and M. Luis, "Desarrollo de un prototipo de micro-red residencial a baja escala Development of a small-scale residential microgrid prototype," vol. 21, no. 43, pp. 107–125, 2018.
- [4] G. Sánchez, C. Fernando, V. Salgado, and C. Afranio, "Tutor :DISEÑO DE UNA MICRORRED BASADA EN RENOVABLES PARA SUMINISTRAR ELECTRICIDAD A UN ÁREA DE CONCESIÓN DE LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR Au," 2017.
- [5] H. Fontenot and B. Dong, "Modeling and control of building-integrated microgrids for optimal energy management – A review," *Appl. Energy*, vol. 254, no. July, p. 113689, 2019, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113689.
- [6] H. V. G. Alvarez, "Diseño de una microred híbrida a base de energía fotovoltaica y energía térmica diesel para reducir la contaminación ambiental .," pp. 1–5.
- [7] D. Neves, M. C. Brito, and C. A. Silva, "Impact of solar and wind forecast uncertainties on demand response of isolated microgrids," *Renew. Energy*, vol. 87, pp. 1003–1015, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.08.075.
- [8] M. K. Kiptoo, M. E. Lotfy, O. B. Adewuyi, A. Conteh, A. M. Howlader, and T. Senjyu, "Integrated approach for optimal techno-economic planning for high renewable energy-based isolated microgrid considering cost of energy storage and demand response strategies," *Energy Convers. Manag.*, vol. 215, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.112917.
- [9] A. Cagnano, E. De Tuglie, and P.

- Mancarella, "Microgrids: Overview and guidelines for practical implementations and operation," *Appl. Energy*, vol. 258, no. October 2019, p. 114039, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2019.114039.
- [10] M. Aneke and M. Wang, "Energy storage technologies and real life applications – A state of the art review," *Appl. Energy*, vol. 179, pp. 350–377, 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.06.097.
- [11] S. M. Dawoud, X. Lin, and M. I. Okba, "Hybrid renewable microgrid optimization techniques: A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. August 2017, pp. 2039–2052, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.007.
- [12] A. Núñez-Reyes, D. Marcos Rodríguez, C. Bordons Alba, and M. Á. Ridao Carlini, "Optimal scheduling of grid-connected PV plants with energy storage for integration in the electricity market," *Sol. Energy*, vol. 144, pp. 502–516, 2017, doi: 10.1016/j.solener.2016.12.034.
- [13] L. R. G. LOACHAMIN, "TRANSACCIONES EN EL MERCADO ELÉCTRICO MAYORISTA Y GESTIÓN DE RIESGOS," *Esc. politécnica Nac.*, 2003.
- [14] W. Tushar *et al.*, "Roles of retailers in the peer-to-peer electricity market: A single retailer perspective," *iScience*, vol. 24, no. 11, p. 103278, 2021, doi: 10.1016/j.isci.2021.103278.
- [15] A. K. Singh and S. K. Parida, "A review on distributed generation allocation and planning in deregulated electricity market," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, no. August 2017, pp. 4132–4141, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.10.060.
- [16] N. Naval and J. M. Yusta, "Virtual power plant models and electricity markets - A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 149, p. 111393, 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111393.
- [17] A. Hasankhani and S. M. Hakimi, "Stochastic energy management of smart microgrid with intermittent renewable energy resources in electricity market," *Energy*, vol. 219, p. 119668, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.119668.
- [18] Y. Zhang, C. Gu, X. Yan, and F. Li, "Cournot oligopoly game-based local energy trading considering renewable energy uncertainty costs," *Renew. Energy*, vol. 159, pp. 1117–1127, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.06.066.
- [19] L. Q. Wkh and X. Dqg, "Investigation of the Role of an Aggregator Operating in the European Spot and Balancing Markets; the Case of an Island," pp. 3–7, 2018.
- [20] D. P. e Silva, J. L. Félix Salles, J. F. Fardin, and M. M. Rocha Pereira, "Management of an island and grid-connected microgrid using hybrid economic model predictive control with weather data," *Appl. Energy*, vol. 278, no. August, p. 115581, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115581.
- [21] D. López, "Modelos para el análisis dinámico y la predicción a corto plazo de los precios de la electricidad en mercados liberalizados," p. 200, 2015, [Online]. Available: www.upeu.com.pe%5Cnrggr.
- [22] T. Adefarati, R. C. Bansal, M. Bettayeb, and R. Naidoo, "Optimal energy management of a PV-WTG-BSS-DG microgrid system," *Energy*, vol. 217, p. 119358, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2020.119358.
- [23] H. Borhanazad, S. Mekhilef, V.

- Gounder Ganapathy, M. Modiri-Delshad, and A. Mirtaheri, "Optimization of micro-grid system using MOPSO," *Renew. Energy*, vol. 71, pp. 295–306, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2014.05.006.
- [24] A. Eitan and I. Fischhendler, "The social dimension of renewable energy storage in electricity markets: The role of partnerships," *Energy Res. Soc. Sci.*, vol. 76, no. November 2020, p. 102072, 2021, doi: 10.1016/j.erss.2021.102072.
- [25] C. Bordons, F. García-Torres, and L. Valverde, "Gestión Óptima de la Energía en Microrredes con Generación Renovable," *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 12, no. 2, pp. 117–132, 2015, doi: 10.1016/j.riai.2015.03.001.
- [26] F. Pachacama, "Respuesta de la demanda sobre tarifas de energía eléctrica mediante asignación óptima de recursos en microrredes inteligentes conectadas a la red eléctrica," universidad politécnica salesiana," Universidad Politécnica Salesiana, 2020.
- [27] D. Gómez, "Mercados Minoristas Alternativos en el Mercado Eléctrico Colombiano," p. 55, 2020.
- [28] J. Lozano, J. Luyo, and Y. P. Molina Rodríguez, "El Mercado Eléctrico Mayorista: Agentes y Modelos de Organización," *Rev. Tec.*, vol. 28, no. 1, 2018, doi: 10.21754/tecnia.v28i1.188.
- [29] S. Díaz-Pérez, Y. Gómez-Charris, J. Silva-Ortega, and E. Noriega-Angarita, "Estudio comparativo de modelos de mercados eléctricos en países de America Latina," *Espacios*, vol. 38, no. 58, 2017.
- [30] O. Arnedillo, "Modelos de mercado electrico," *Dep. Econ.*, pp. 1–19, 2012.
- [31] Viceministerio de electricidad y energía alternativas, "Estudio de determinación de Costos de Operación, Mantenimiento y Administración Fijos de Generación con base en Energías Alternativas," p. 71, 2018, [Online]. Available: https://energypedia.info/images/e/e2/Estudio_Costos_Fijos_OMA-Generacion_SOLAR_FV.pdf.
- [32] M. Kharrich, O. H. Mohammed, N. Alshammari, and M. Akherraz, "Multi-objective optimization and the effect of the economic factors on the design of the microgrid hybrid system," *Sustain. Cities Soc.*, vol. 65, no. July 2020, p. 102646, 2021, doi: 10.1016/j.scs.2020.102646.
- [33] A. Internacional de Energías Renovables, "Costos de generación de energía renovable en 2020: Resumen ejecutivo," pp. 1–12, 2020.
- [34] John A. Duffie, *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind*, vol. 59. .

8.2 Resumen de Indicadores

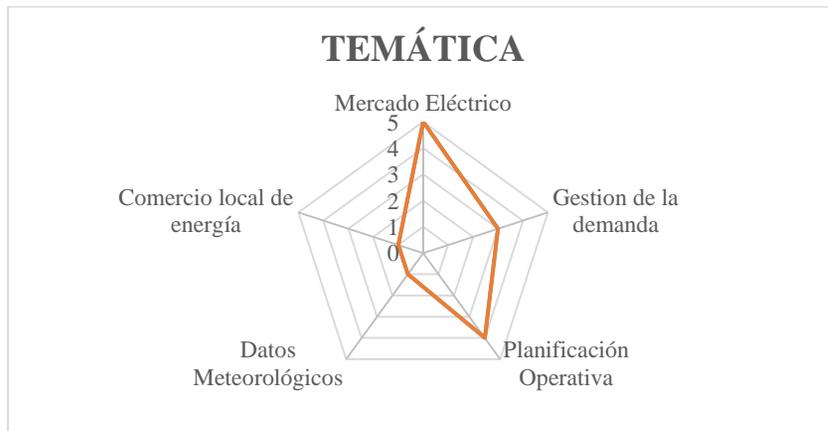


Figura 9. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

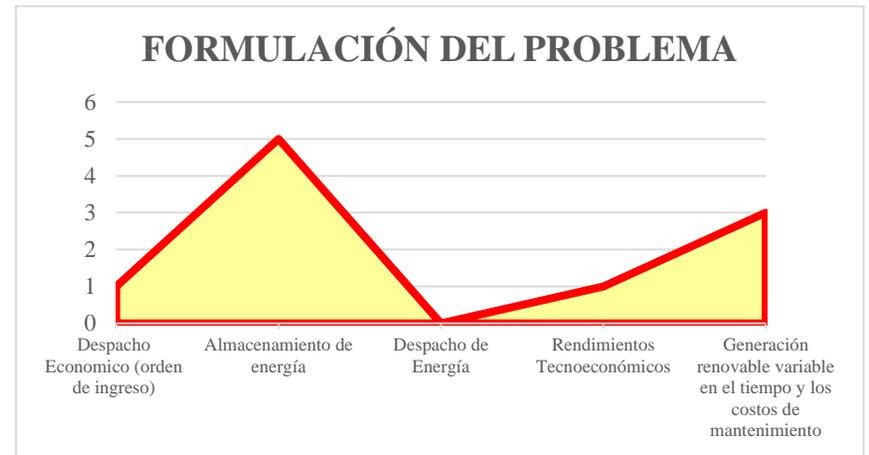


Figura 10. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

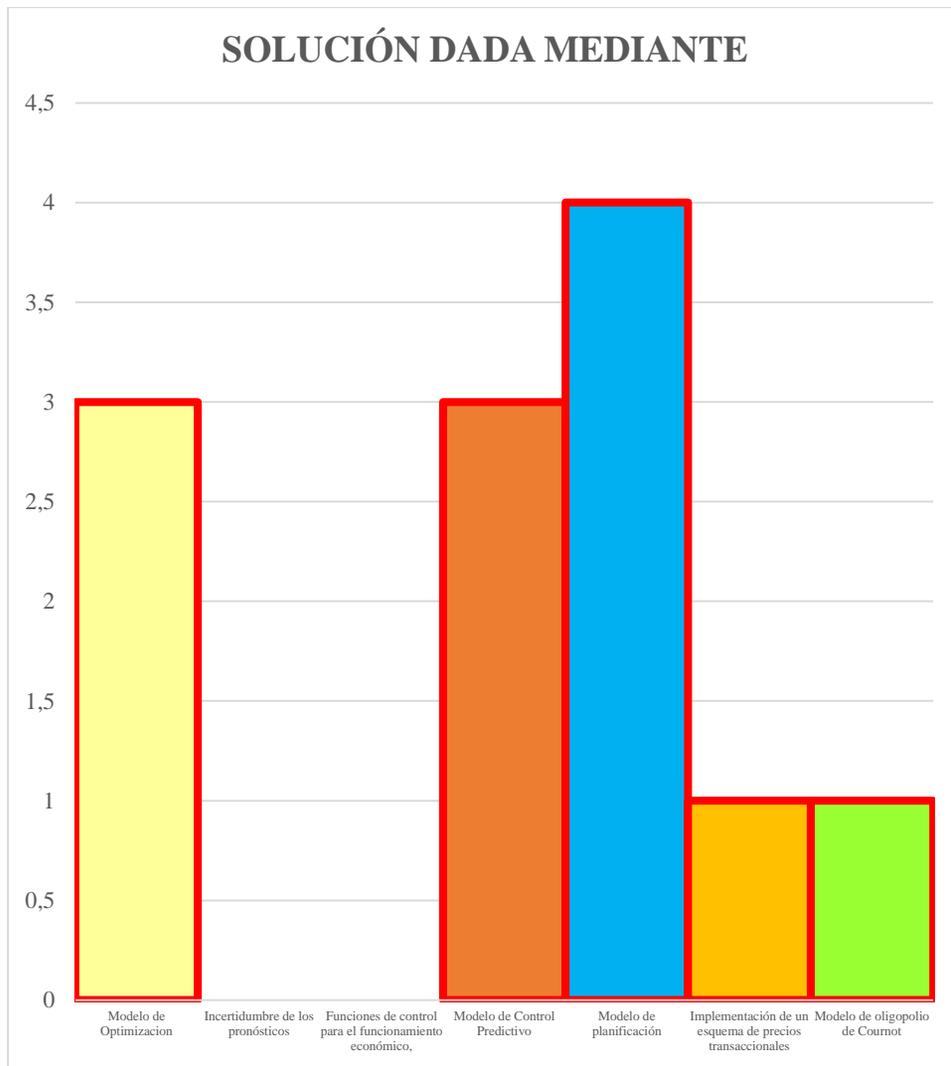


Figura 11. Indicador de solución - Estado del arte.

9 Anexos

A continuación se presenta los resultados de los precios generados para cada uno de los meses restantes.

Tabla 7. Precio horario mes de enero

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,865437526
1	3,179937033
2	2,782323084
3	2,761932979
4	2,648269445
5	2,581618622
6	2,35511388
7	6,571899993
8	11,62347093
9	17,69799684
10	23,42222829
11	23,58175075
12	18,48370302
13	13,30747638
14	9,14247155
15	4,820834352
16	4,767101395
17	6,663978807
18	7,349871185
19	7,503500378
20	7,056198851
21	6,558781123
22	6,06039141
23	4,924896607

Tabla 8. Precio horario mes de febrero

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,051209333
1	2,380341459
2	2,223626673
3	2,261652452
4	2,208276776
5	2,161412711
6	2,152688518
7	6,015073485
8	10,86492593
9	13,03570515
10	14,33339446
11	13,995556
12	13,07205923
13	11,03103729
14	8,106978945
15	4,375011934
16	3,525344269
17	4,88831313
18	5,375778846
19	5,46822653
20	5,132978137
21	4,752497484
22	4,37904754
23	3,645046938

Tabla 9. Precio horario mes de abril

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,704895713
1	2,909587356
2	2,514587871
3	2,348035487
4	2,243289763
5	2,363224602
6	3,883444857
7	8,487604215
8	14,72917208
9	18,02096557
10	18,31029384
11	18,04901883
12	16,19853629
13	12,5972561
14	8,505446688
15	4,074681805
16	5,019776918
17	6,616459094
18	7,240159407
19	7,440283803
20	7,059516975
21	6,629698198
22	6,075226274
23	4,766140304

Tabla 10. Precio horario mes de mayo

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,586255293
1	2,503820457
2	2,100566516
3	2,018629425
4	2,073594378
5	2,211745603
6	2,006293587
7	4,33054188
8	7,174192017
9	10,60421627
10	13,61049842
11	15,29810145
12	15,33567442
13	14,01648084
14	11,86715694
15	8,379913525
16	3,684581078
17	5,50058518
18	6,575827912
19	6,921578294
20	6,574124883
21	6,140280506
22	5,703734965
23	4,797371806

Tabla 11. Precio horario mes de junio

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	4,089194762
1	2,933331956
2	2,371344027
3	2,005100979
4	2,402708252
5	3,356979876
6	6,135455577
7	8,605939178
8	14,17453982
9	18,7469238
10	18,74968107
11	16,20768902
12	12,86629354
13	9,121657646
14	5,661108873
15	3,760735609
16	5,493190891
17	7,05738653
18	7,653465943
19	7,730194239
20	7,108677839
21	6,424103896
22	5,764731659
23	4,681990329

Tabla 12. Precio horario mes de julio

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	4,163176709
1	3,299268139
2	2,713393126
3	2,405481231
4	2,464248769
5	5,190523835
6	9,669926505
7	11,34085135
8	14,23946983
9	17,59439303
10	18,27408765
11	17,28751336
12	13,95796125
13	11,27497221
14	8,194864928
15	4,410554367
16	5,362789175
17	7,340357954
18	8,13085854
19	8,278263146
20	7,810561116
21	7,29888848
22	6,776654538
23	5,641875333

Tabla 13. Precio horario mes de septiembre

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,758524214
1	2,858758995
2	2,276542262
3	2,196756163
4	2,842980246
5	3,850965669
6	6,524295027
7	12,18028615
8	17,8795163
9	14,27033958
10	12,32803138
11	12,41104129
12	11,35588498
13	9,898346818
14	7,83810171
15	4,47717515
16	4,862319796
17	6,53363427
18	7,454349268
19	7,593336506
20	6,985976774
21	6,583383785
22	5,891751617
23	4,657173525

Tabla 14. Precio horario mes de octubre

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	4,370168853
1	3,524121574
2	3,080915805
3	2,911413195
4	2,779670998
5	2,335503234
6	4,831219513
7	7,672798649
8	11,08762494
9	14,65516531
10	17,25684459
11	18,49573722
12	15,12664493
13	10,77888568
14	6,73920964
15	3,700691317
16	5,610979988
17	7,114973583
18	7,760782922
19	7,678312966
20	6,707359976
21	5,604883686
22	5,047348231
23	4,253412912

Tabla 15. Precio horario mes de noviembre

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	3,326072114
1	2,334911297
2	1,967660404
3	1,866780474
4	1,836176143
5	1,710540266
6	3,769543466
7	7,122131822
8	11,09245897
9	15,41857714
10	17,48961486
11	16,95296399
12	14,48068525
13	10,96153834
14	7,210494135
15	2,905734221
16	4,59929956
17	6,288059213
18	6,615450873
19	6,505835705
20	6,515224964
21	6,193084439
22	5,743005617
23	4,846709783

Tabla 16. Precio horario mes de diciembre

Hora	Precio (cUSD/kWh)
0	4,085609109
1	3,296091596
2	2,965980975
3	2,909301706
4	2,846064997
5	2,665438694
6	2,315068572
7	5,413397963
8	8,19114763
9	10,75530196
10	12,07589241
11	12,04606688
12	11,54552783
13	10,4951516
14	9,373511427
15	8,611254496
16	8,450213979
17	7,881716603
18	5,611355758
19	6,144295503
20	6,32152137
21	6,732426542
22	6,332108135
23	5,272601192